

เครื่องยนต์สเตอร์ลิงแบบลูกสูบเหลว

Liquid Piston Stirling Engine

สมพร ตันติวงศ์ไพศาล

ภาควิชาวิศวกรรมยานยนต์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม เขตภาษีเจริญ กรุงเทพฯ 10160

*E-mail: somporn1001@yahoo.com

Somporn Tantiwongpaisan

Department of Automotive Engineering, Faculty of Engineering, Siam University, Pasichareon, Bangkok 10160.

*E-mail: somporn1001@yahoo.com

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อศึกษาการทำงานและพัฒนาต้นแบบเครื่องยนต์สเตอร์ลิงแบบลูกสูบเหลวอย่างง่าย เครื่องยนต์ดังกล่าวต่อเข้ากับปั้มน้ำซึ่งทั้งหมดทำด้วยแก้ว เพื่อจะได้เห็นการทำงานของทั้งเครื่องยนต์และปั้มน้ำ เครื่องยนต์ทำงานโดยแหล่งกำเนิดพลังงานเป็นขดลวดความร้อนขนาด 100 วัตต์ ให้ความร้อนแก่อากาศเหนือผิวน้ำในหลอดแก้วด้วยด้านหนึ่ง (heater) อีกด้านหนึ่งของตัวยูเป็นส่วนระบายความร้อน (cooler) เมื่ออากาศภายในหลอดแก้วด้วยได้รับความร้อนจะเกิดการขยายตัวดันให้น้ำเคลื่อนที่ลงทำการปั้มน้ำออกจากระบบปั้มน้ำ ในขณะที่ด้านระบายความร้อนซึ่งมีอุณหภูมิต่ำกว่าทำให้อากาศมีปริมาตรลดลงดึงให้ระดับน้ำในหลอดแก้วด้วยด้านระบายความร้อนเคลื่อนที่ขึ้น เมื่อระดับของน้ำด้านระบายความร้อนถูกดูดยกขึ้นทำให้ระดับน้ำด้านให้ความร้อนต่ำลง และด้วยน้ำหนักของน้ำด้านระบายความร้อนที่มากกว่าระดับน้ำด้านให้ความร้อน ทำให้เกิดการไหลกลับของน้ำไปด้านให้ความร้อนและเกิดการดูดน้ำจากปั้มน้ำเข้าสู่เครื่องยนต์ เพื่อรักษาปริมาณน้ำในระบบเครื่องยนต์ให้คงที่ ระดับน้ำในหลอดแก้วด้านให้ความร้อนจึงถูกยกสูงขึ้นกว่าระดับน้ำด้านระบายความร้อน และเมื่ออากาศได้รับความร้อนจากขดลวดความร้อนก็เกิดการขยายตัวดันน้ำจากด้านให้ความร้อนให้เคลื่อนที่ไปทางด้านระบายความร้อนพร้อมทั้งปั้มน้ำออกจากระบบปั้มน้ำ และจะทำงานเป็นวัฏจักรแบบนี้ไปเรื่อย ๆ ทรายไต้ยังให้พลังงานแก่ระบบเครื่องยนต์ จากการทดสอบพบว่าสามารถปั้มน้ำได้เป็นอย่างดีและเป็นไปอย่างต่อเนื่อง โดยมีความสามารถในการดูดน้ำและส่งน้ำได้สูงสุดประมาณ 50 เซนติเมตร ให้อัตราการไหลของน้ำสูงสุดประมาณ 300 มิลลิลิตรต่อวินาที

คำหลัก : เครื่องยนต์สเตอร์ลิงแบบลูกสูบเหลว, ปั้มน้ำของไหล, ความร้อน

Abstract

The objectives of this research are to study and develop the simple Liquid Piston Stirling Engine. The system consists of a U-tube glass represented as Stirling Engine and a three-way-tube represented as Water Pump. A side of U-tube heated by a 100-watts heater becomes the heater side. Another side of U-tube cooled in air becomes the cooler side. Due to expansion of warm air in the heater side, air pressure pushes water to the pump (delivery stroke). Simultaneously, the reduction of cold air in the cooler side becomes the vacuum that sucks the amount of water up. Since the level of water in the heater side is lower than the property and sucks a new amount of water (suction stroke). At this moment the system reverses to the beginning step. When the heater side is still receives the heat energy, the system keep pumping the water and becomes the cycle all time. As the results of experiment, the system has maximum flow rate at 300 ml/min and total head 50 cm. water.

Keywords: Liquid Piston Stirling Engine, Fluidize Pump, Heat Pump, Heater.

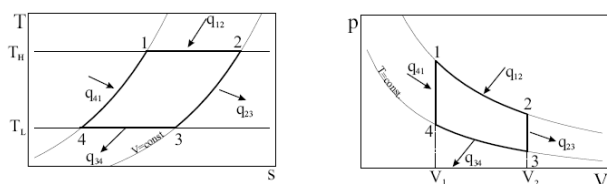
1. บทนำ

บทความด้านเครื่องยนต์สเตอร์ลิงในปัจจุบันมีมากขึ้นและเครื่องยนต์สเตอร์ลิงก็ได้รับความสนใจมากขึ้น เนื่องจากเครื่องยนต์สเตอร์ลิงเป็นเครื่องยนต์ที่สามารถใช้แหล่งพลังงานได้หลากหลาย ไม่จำกัดเฉพาะจากเชื้อเพลิงฟอสซิลอย่างเครื่องยนต์สันดาปภายใน เครื่องยนต์สเตอร์ลิงมีหลายแบบหลายชนิด ตามการทำงานที่ต่างกัน อย่างเช่น เครื่องยนต์สเตอร์ลิงแบบสองลูกสูบ เครื่องยนต์สเตอร์ลิงแบบความแตกต่างของอุณหภูมิต่ำ เครื่องยนต์สเตอร์ลิงแบบลูกสูบทำงานอย่างอิสระ เป็นต้น สำหรับบทความนี้ผู้วิจัยได้ศึกษาเครื่องยนต์สเตอร์

ลึงแบบลูกสูบเหลว ซึ่งเป็นอีกชนิดหนึ่งของเครื่องยนต์สเตอร์ลิง โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการทำงานและสร้างต้นแบบของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงแบบลูกสูบเหลว ในเบื้องต้นมีความคาดหวังให้เครื่องดังกล่าวสามารถทำงานได้เท่านั้น ในความคิดเห็นของผู้วิจัยเครื่องยนต์สเตอร์ลิงแบบลูกสูบเหลวซึ่งทำหน้าที่ปั้มน้ำนี้ สามารถพัฒนาให้ใช้แหล่งพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์และหากพัฒนาให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นก็จะสามารถนำไปใช้งานแทนปั้มน้ำซึ่งใช้พลังงานจากไฟฟ้าได้อย่างน่าสนใจ

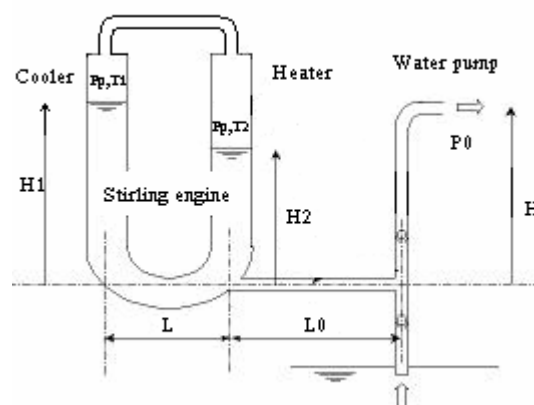
2. เครื่องยนต์สเตอร์ลิงแบบลูกสูบเหลว (หลักการทำงาน)

เครื่องยนต์สเตอร์ลิงถูกคิดค้นโดยโรเบิร์ต สเตอร์ลิง (Robert Stirling A.D.1790-1878) ชาวสกอตแลนด์ ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1816 วัฏจักรการทำงานของเครื่องยนต์สเตอร์ลิง เริ่มจากกระบวนการที่ 1-2 เป็นกระบวนการขยายตัวของของไหลทำงาน (Working fluids) ในขณะที่อุณหภูมิคงที่ (Isothermal expansion) เนื่องจากการได้รับความร้อนจากภายนอกกระบวนการ กระบวนการที่ 2-3 เป็นกระบวนการคายความร้อนออกจากของไหลทำงาน ที่ปริมาตรคงที่ (Heat rejected at constant volume) กระบวนการที่ 3-4 เป็นกระบวนการถ่ายเทความร้อนออกจากของไหลทำงานสู่ภายนอก โดยที่อุณหภูมิของของไหลทำงานคงที่ ขณะที่ปริมาตรลดลง (Isothermal compression) กระบวนการที่ 4-1 เป็นกระบวนการที่ของไหลทำงานได้รับความร้อนในขณะที่ปริมาตรคงที่ (Constant volume heat addition) กระบวนการทั้งสี่สามารถแสดงบนแผนภาพ T-s และ p-V ดังรูปที่ 1



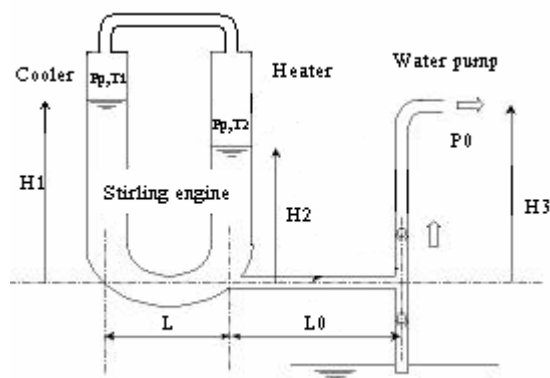
รูปที่ 1 แสดงวัฏจักรทางอุณหพลศาสตร์ของเครื่องยนต์สเตอร์ลิง

เครื่องยนต์สเตอร์ลิงแบบลูกสูบเหลว (Liquid piston stirling engine) ซึ่งเป็นเครื่องยนต์สเตอร์ลิงอีกแบบหนึ่งถูกคิดค้นโดย C. D. West เมื่อประมาณปี ค.ศ. 1970 และถูกพัฒนาให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น แต่สำหรับประเทศไทยยังไม่มีงานวิจัยเกี่ยวกับเครื่องยนต์ดังกล่าวเท่าที่ควร เครื่องยนต์สเตอร์ลิงแบบลูกสูบเหลวบางครั้งถูกเรียกว่าเครื่องยนต์ปั้มน้ำของเหลว (Fluidyne heat engine) ของเหลวในที่นี้ก็คือ น้ำ เครื่องยนต์ดังกล่าวประกอบด้วยสองส่วนหลักคือส่วนของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงและส่วนของปั้มน้ำ ดังรูปที่ 2

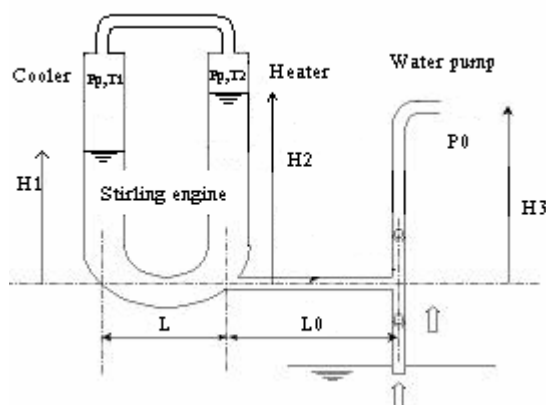


รูปที่ 2 แสดงส่วนประกอบของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงแบบลูกสูบเหลว

เมื่อให้ความร้อนที่ปลายด้านหนึ่งของหลอดแก้วด้วย (ฝั่ง Heater) จนความร้อนถึงระดับ น้ำในหลอดแก้วตัวนี้จะเริ่มแกว่ง เนื่องจากอากาศด้าน Heater ได้รับความร้อนและเกิดการขยายตัวดันให้น้ำลดระดับลง ในขณะที่ระดับน้ำในหลอดแก้วตัวด้าน Cooler จะถูกยกตัวสูงขึ้น ในจังหวะนี้น้ำจะถูกดันออกจากปั้มน้ำ เมื่อน้ำในหลอดแก้วตัวฝั่ง Cooler พยายามจะลดระดับลงเนื่องจากน้ำหนักตัวของน้ำและขณะเดียวกันอากาศในหลอดแก้วก็ลดอุณหภูมิลงเกิดการหดตัวของอากาศ ทำให้อากาศด้านฝั่ง Heater ถูกดึงขึ้น ในจังหวะนี้น้ำจากภายนอกกระบวนการจะถูกดูดเข้าปั้มน้ำ และเมื่ออากาศได้รับความร้อนจากฝั่ง Heater ก็เกิดการขยายตัวดันให้น้ำลดระดับลงอีก เป็นวัฏจักรอย่างนี้ตลอดไป ตราบใดที่ยังมีความร้อนป้อนแก่เครื่องยนต์สเตอร์ลิง และปั้มน้ำก็จะทำงานทั้งคืนน้ำออกจากกระบวนการและดูดน้ำเข้าสู่ระบบ เป็นอย่างนี้ตลอดเวลา ดังรูปที่ 3 และ 4



รูปที่ 3 แสดงการทำงานของระบบ ขณะส่งน้ำออกจากปั้มน้ำ



รูปที่ 4 แสดงการทำงานของระบบ ขณะดูดน้ำเข้าสู่ระบบ

3. การออกแบบ

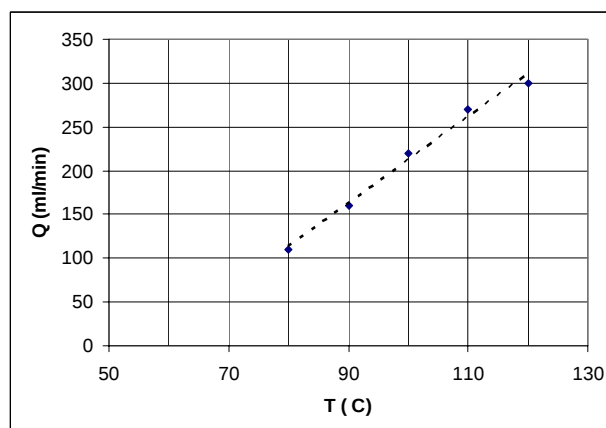
การออกแบบต้นแบบเครื่องยนต์สเตอร์ลิงแบบลูกสูบเหลว ผู้วิจัยได้ศึกษารูปแบบจากข้อมูลในเว็บไซต์ และใช้วัสดุแก้วมาสร้างเป็นตัวเครื่องยนต์และตัวปั้มน้ำ เพื่อสามารถเห็นการทำงานของเครื่องยนต์ หลอดแก้วตัวยูทำด้วยแก้วขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 นิ้ว และปั้มน้ำขึ้นรูปโดยมีวาล์วก้นกลับ ขนาดของท่อน้ำคือ ¼ นิ้ว เครื่องยนต์ถูกให้ความร้อนด้วยขดลวดความร้อนขนาด 100 วัตต์ สามารถปรับอุณหภูมิตั้งแต่ 30 จนถึง 120 องศาเซลเซียส อีกด้านหนึ่งของหลอดแก้วตัวยูทำหน้าที่ระบายความร้อนสู่อากาศและน้ำในหลอดแก้ว อากาศจากทั้งสองด้านคือด้านให้ความร้อนและด้านระบายความร้อนเคลื่อนที่ไปมาผ่านหลอดแก้วขนาดเล็กซึ่งเชื่อมต่ออากาศทั้งด้านให้ความร้อนและด้านระบายความร้อนเข้าด้วยกัน

4. การทดสอบและผลที่ได้

สำหรับบทความนี้ผู้วิจัยได้คาดหวังเพียงให้เครื่องยนต์และระบบทำงานได้ จึงไม่ได้ติดตั้งอุปกรณ์วัดความดันและอุณหภูมิในท่อหลอดแก้วตัวยูด้านบนที่เป็นที่เก็บอากาศ แต่ได้ทำการทดลองปรับอุณหภูมิของขดลวดความร้อนและทำการวัดอัตราการไหลของปั้มน้ำในแต่ละจุดที่ปรับ ได้ผลดังตารางที่ 1 และกราฟที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงอัตราการไหลของน้ำกับอุณหภูมิของขดลวดความร้อนที่ Head = 30 cm. อุณหภูมิห้อง 30 °C

T (°C)	120	110	100	90	80
Q (ml/min)	300	270	220	160	110



กราฟที่ 1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของน้ำกับอุณหภูมิของขดลวดความร้อน

และจากการทดลองวัดความสามารถในการดูดและส่งน้ำได้สูงประมาณ 50 เซนติเมตร ความถี่ของการแกว่งของน้ำในหลอดตัวยูประมาณ 90 เฮิรตซ์

5. การวิเคราะห์

ต้นแบบเครื่องยนต์สเตอร์ลิงแบบลูกสูบเหลวที่ประดิษฐ์ขึ้นทำจากวัสดุแก้ว เพื่อสามารถมองเห็นการทำงานของระบบ เครื่องยนต์ดังกล่าวถูกให้ความร้อนจากขดลวดความร้อนขนาด 100 วัตต์ สามารถสร้างความร้อนได้ตั้งแต่ 30 องศาเซลเซียส จนถึง 120 องศาเซลเซียส แต่การควบคุมความคงที่ของชุดควบคุมอุณหภูมิยังทำงานได้ไม่ดีพอ ทำให้เครื่องยนต์ทำงานไม่สม่ำเสมอ เป็นเพราะการตัด-ต่อของตัวควบคุมอุณหภูมิ ส่งผลต่อความแรงของการแกว่งของน้ำในหลอดแก้วตัวยูเป็นไปอย่างไม่สม่ำเสมอด้วย ปัญหาสำคัญอีกประการคืออุปกรณ์วาล์วก้นกลับทั้งสองชุดมีการรั่วไม่สามารถกันน้ำที่ไหลย้อนกลับเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกได้ดีพอ เป็นอีกเหตุผลสำคัญที่ทำให้เครื่องยนต์ดังกล่าวมีประสิทธิภาพต่ำลง

จากการทดลองพบว่าเครื่องยนต์ต้นแบบสามารถทำงานได้ตั้งแต่อุณหภูมิของขดลวดความร้อนมีค่า 80 องศาเซลเซียสเป็นต้นไปและจะทำงานได้ดีขึ้นจนอุณหภูมิสูงสุด 120 องศาเซลเซียส โดยขณะทดลองมีอุณหภูมิห้อง 30 องศาเซลเซียส ลักษณะการแกว่งของน้ำในหลอดแก้วตัวยูจะสูงขึ้น ในขณะที่ความถี่ของการแกว่งเท่าเดิมคือประมาณ 90 ครั้งต่อนาที ด้วยลักษณะการแกว่งที่สูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิของขดลวดสูงขึ้นทำให้อัตราการไหลของน้ำที่ออกจากปั้มมากขึ้นตามลำดับ โดยมีความสัมพันธ์เป็นลักษณะเส้นตรง หากเขียนสมการจะได้เป็น

$$Q(\text{ml/min}) = 4.9T(\text{C}) - 278$$

เมื่อ Q เป็นอัตราการไหลของน้ำจากปั้ม (ml/min)

T เป็นอุณหภูมิของขดลวดความร้อน (°C)

เป็นที่น่าสังเกตคือความถี่ของการแกว่งของน้ำในหลอดแก้วตัวยู เป็นไปอย่างคงที่ ไม่ขึ้นกับอุณหภูมิของขดลวดความร้อนที่เปลี่ยนไป แต่ขนาดความสูงของน้ำในหลอดแก้วตัวยูจะเปลี่ยนตามความร้อนที่ใส่ให้แก่ระบบ ส่งผลต่ออัตราการไหลของน้ำ

เครื่องยนต์ดังกล่าวสามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่องตราบใดที่ยังคงจ่ายพลังงานให้แก่ระบบ การทำงานที่เสียบเป็นข้อเด่นประการหนึ่งของเครื่องยนต์สเตอร์ลิง ข้อจำกัดของการทดลองประการหนึ่งคือผู้วิจัยไม่ได้ทดลองว่าหากจะเพิ่มความร้อนไปมากกว่านี้หรือเพิ่มขึ้นไปเรื่อย ๆ แล้วผลที่ได้จะเป็นอย่างไร

6. สรุปผล

เครื่องยนต์สเตอร์ลิงแบบลูกสูบเหลว ซึ่งเป็นเครื่องต้นแบบถูกประดิษฐ์ขึ้น โดยใช้หลอดแก้วทั้งหมด สามารถทำงานได้ดีตั้งแต่อุณหภูมิของขดลวดความร้อนมีค่าตั้งแต่ 80 จนถึง 120 องศาเซลเซียส สามารถให้อัตราการไหลของน้ำได้สูงสุด 300 มิลลิลิตรต่ออนาที ที่ความสูงของการดูดน้ำประมาณ 30 เซนติเมตร เครื่องยนต์ดังกล่าวมีความสามารถในการดูดและส่งน้ำได้สูงสุดประมาณ 50 เซนติเมตร ในขณะที่ให้ความร้อนแก่หลอดแก้วรูปตัวยู อีกด้านหนึ่งระบายความร้อนโดยอากาศและน้ำในหลอดแก้ว ทั้งสองด้านเชื่อมต่อกับหลอดแก้วขนาดเล็กอยู่ด้านบนเพื่อให้อากาศไหลไป-มาได้อย่างสะดวก

7. ข้อเสนอแนะ

สำหรับการทดลองนี้มีข้อบกพร่องอยู่หลายประการ ได้แก่ การที่ชุดควบคุมความร้อนที่มีช่วงการติดต่อของความร้อนกว้างทำให้เครื่องยนต์ทำงานไม่สม่ำเสมอ การรั่วของวาล์วกันกลับทำให้ความสามารถของเครื่องยนต์ต่ำลง หากวาล์วกันกลับไม่รั่ว อาจจะสามารรถทดลองเครื่องยนต์ดังกล่าวได้ที่อุณหภูมิของขดลวดที่ต่ำกว่านี้ก็เป็นได้ การที่เป็นเครื่องยนต์ต้นแบบทำให้ไม่ได้ติดตั้งอุปกรณ์วัดอุณหภูมิและความดันของอากาศในหลอดแก้วตัวยู ทำให้การวิเคราะห์ทางอุณหพลศาสตร์ทำได้ยาก เป็นต้น

8. เอกสารอ้างอิง

- [1] Walker, G., "Stirling Engines", Oxford Univ. Press, 1980.
- [2] Liquid Piston Stirling Engine (Online): psfvip4.univ-comte.fr/sft08122004/sources/Lanzetta.pdf

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับความร่วมมืออย่างดีจากนักศึกษาภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยสยาม ได้แก่ นายวรพล จ้าวสุวรรณ นายสมมาท สงวนพงษ์ และนายสุวิษ ศรีฟ้า ที่ได้ช่วยให้งานวิจัยดังกล่าวเป็นรูปร่างอย่างน่าพอใจ